Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 4, Oct.-Nov. 2023, p. 511-525

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۲ ص. ۵۲۵-۵۱۱

Research Article
Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir

The Effect of Chitosan and Okra Mucilage Edible Coatings on the Physico-chemical Properties of Fried Potato Strips

A. Farazmand[1], H. Jalali[2], A. Najafi[3*]

Received: 2022.07.03
Revised: 2022.10.16
Accepted: 2022.10.25
Available Online: 2022.10.26

How to cite this article:
Farazmand, A., Jalali, H., & Najafi, A. (2023). The effect of chitosan and okra mucilage edible coatings on the physico-chemical properties of fried potato strips. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 19*(4), 511-525. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.77486.1187

Introduction

Potato strips are one of the most widely consumed products, and due to their high oil content, they have caused public health concerns. Therefore, efforts to reduce oil absorption can alleviate these concerns to some extent. Edible coating is an effective way to reduce oil uptake, because the oil absorption is a surface phenomenon. Edible coatings should adhere well to the surface of the product and provide a uniform and complete coverage for the product. Preventing the migration of oxygen, carbon dioxide, aromas, oils, moisture, improving the appearance of food and mechanical properties. In this study, the possibility of reducing oil absorption in French fries was investigated using okra mucilage and chitosan as edible coatings.

Material and Methods

The okra was washed and then cut into about 1 cm pieces and poured into containers with lids. Then water in a ratio of 2:1 weight of okra was added to the container and completely covered its surface. The okra were refrigerated for 72 hours until the mucilage was completely extracted. Then the mucilage was smoothed. This solution was considered as 100% mucilage solution. To prepare a 50% solution of okra mucilage, 100% solution was mixed with an equal amount of distilled water and filtered. To produce a solution of 0.75 and 1.5% of chitosan, 7.5 and 15 g of chitosan powder was dissolved in 1000 ml of 1% acetic acid and then adjusted to pH 5. Then 5 g of glycerol was added as a plasticizer. The potato slices were first blanched in 0.5% calcium chloride solution at 90°C for 5 minutes. Then, they were immersed in coating solutions at 60°C for 5 minutes. After coating, the potato strips were fried at 180°C using a fryer and then various characteristics including coating percentage, oil absorption, and moisture content, texture firmness, peroxide value, acid number, color indices and sensory properties were examined. Design Expert 8.0.7.1 software was used to analyze the results and to draw the curves.

Results and Discission

The results showed that the increasing the amount of chitosan led to better coating formation in comparison with okra. The highest coverage was observed in the concentration of 1.2% chitosan and 0% okra mucilage (2.38%) and the lowest was observed in the control sample (0.11%). It was also observed that with increasing the concentration of chitosan and okra mucilage, the amount of oil absorption decreases. However, the amount of oil absorption in high concentrations of okra mucilage increased slightly. The highest oil uptake in the control sample was 20% and the lowest was observed

1, 2 and 3- M.Sc and Assistant Professors, Department of Food Science and Technology, Damghan branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Ali.Najafi@iau.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.2022.77486.1187

in the sample of fried strips covered with 41% okra mucilage and 1.5% chitosan at 15.44%. The obtained model of oxidation index was not significant. The effect of okra mucilage and chitosan concentration on the texture of the samples ($p < 0.05$) and the color indices of a* ($p < 0.01$) and L* ($p < 0.05$) were significant. For sensory attributes, the highest and the lowest taste score was observed for samples coated with 100% okra mucilage and 0.75% chitosan and samples coated with 18% okra mucilage and 0% chitosan respectively.

Conclusion

The aim of this project was to reduce the oil absorption of fried potato strips by coating them with chitosan and okra mucilage. Optimization to minimize the consumption of okra and chitosan mucilage showed that coating with 74% okra and 0.89% chitosan is suitable for coating potato slices. The desirability of this optimization was 71%, which is a reasonable percentage.

Keywords: Chitosan, Edible coatings, Oil uptake, Okra mucilage, Potato

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 3, Oct.-Nove. 2023, p. 511-525

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۲ ص. ۵۱۱-۵۲۵

مقاله پژوهشی

اثر پوشش‌های خوراکی کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شده

آزاده فرازمند[1]–حسین جلالی[2]– علی نجفی[3]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

چکیده

سیب‌زمینی سرخ‌شده از محصولاتی است که مصرف بالایی دارد و به‌دلیل داشتن روغن زیاد نگرانی‌هایی را از لحاظ سلامت عمومی به‌وجود آورده است. در این تحقیق امکان کاهش جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ‌شده با استفاده از موسیلاژ بامیه و کیتوزان به‌عنوان پوشش خوراکی بررسی شد. بدین منظور موسیلاژ بامیه با غلظت‌های ۰، ۵۰ و ۱۰۰ و کیتوزان با غلظت‌های ۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد مورد استفاده قرار گرفت. غلظت‌های صفر به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. پس از پوشش‌دهی، خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده و درصد پوشش‌دهی، میزان جذب روغن، مقدار رطوبت، سفتی بافت، عدد پراکسید، عدد اسیدی، شاخص‌های رنگ و ویژگی‌های حسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کیتوزان باعث افزایش پوشش‌دهی و بامیه سبب کاهش آن گردید. بیشترین پوشش‌دهی در غلظت ۱/۲ درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۲/۳۸ درصد) و کمترین آن در نمونهٔ شاهد (۰/۱۱ درصد) مشاهده گردید. همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت کیتوزان و موسیلاژ بامیه جذب روغن کاهش یافت، ولی جذب روغن در غلظت‌های بالای موسیلاژ بامیه کمی افزایش یافت. بیشترین و کمترین جذب روغن به ترتیب در نمونه شاهد (۲۰/۶ درصد) و نمونه پوشش دهی شده با ۴۱ درصد موسیلاژ بامیه و ۱/۵ درصد کیتوزان (۱۵/۴۴ درصد) مشاهده شد. در مورد عدد پراکسید و عدد اسیدی مدل‌های به‌دست آمده معنی‌دار نبودند. اثر غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر بافت نمونه‌ها و شاخص‌های رنگ معنی‌دار بود. در نهایت پس از بهینه‌یابی، غلظت ۷۴ درصد بامیه و ۰/۸۹ درصد کیتوزان به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌خوراکی، جذب روغن، کیتوزان، سیب‌زمینی، موسیلاژ بامیه

مقدمه

امروزه تمایل جامعه به مصرف غذاهای آماده رو به افزایش است. از سوی دیگر افزایش بیماری‌هایی مانند چاقی، دیابت و بیماری‌های قلبی‌عروقی، باعث ایجاد نگرانی‌هایی از لحاظ بهداشت و سلامت عمومی گردیده است. یکی از عوامل بروز این مشکلات و بیماری‌ها، بالا بودن مقدار چربی در رژیم غذایی افراد و خطرات ناشی از پلیمریزاسیون روغن‌ها در حین فرآیند است. بنابراین، خطمشی کلی صنعت غذا به‌سمت تولید محصولات عاری از چربی یا کم‌چربی با دارا بودن عطر و طعم مشابه با محصول طبیعی می‌باشد (Daraei Garmakhany *et al.*, 2011). سیب‌زمینی سرخ شده یکی از فرآورده هایی است که به‌دلیل جذب زیاد روغن در حین فرآیند، کالری زیادی وارد بدن می‌کند. تمایل رو به افزایش مصرف‌کنندگان به میان‌وعده‌های غذایی کم‌کالری باعث رو آوردن به فرآیندهایی به‌منظور کاهش میزان جذب روغن ضمن حفظ کیفیت محصول شده است (Bouchon *et al.*, 2015).

سرخ کردن عمیق یک روش قدیمی است که ماده غذایی با غوطه ور شدن در روغن داغ پخته می‌شود (Juaniz *et al.*, 2016). طی سرخ کردن عمیق، استفاده از دمای بالا منجر به تبخیر آب و خارج شدن آن از سطح ماده غذایی می‌شود، در نتیجه روغن احاطه کننده ماده غذایی به داخل بافت آن نفوذ کرده و جایگزین آب تبخیر شده می‌گردد (Van Koerten *et al.*, 2015). از مهمترین سازوکارهای مؤثر در جذب

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Ali.Najafi@iau.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.2022.77486.1187

روغن می‌توان به جایگزینی آب، اثر فاز سردشدن[1] و عوامل فعال در سطح اشاره کرد (Sabbaghi *et al.*, 2015). در سازوکار اول حفره‌های نسبتا بزرگی در اثر تبخیر آب در محصول سرخ شده ایجاد می‌شود که روغن جایگزین آب در این حفره‌ها می‌شود. سازوکار دوم مربوط به روغنی است که هنگام خارج کردن غذا از سرخ‌کن جذب غذا می‌شود. در این مرحله، ویژگی‌های سطح محصول و ویسکوزیته روغن نقش اساسی دارند. تشکیل عوامل فعال سطحی نقش زیادی در توجیه افزایش جذب روغن ندارد (Dana and Saguy, 2006). از ترکیبات هیدروکلوئیدی می‌توان در فرمولاسیون محصولات خمیری و همچنین به صورت پوشش خوراکی در سایر محصولات جهت کاهش جذب روغن استفاده کرد (Sabbaghi, 2021). برای تولید پوشش‌های خوراکی از پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، چربی‌ها و ترکیبی از این مواد استفاده می‌شود (Yadegari *et al.*, 2017). پوشش‌ها به صورت مستقیم روی غذا استفاده می‌شود و همان‌جا شکل خاص خود را می‌گیرد (Debeaufort and Voilley, 2009). پوشش‌های خوراکی بایستی به خوبی به سطح محصول مورد نظر چسبیده و پوشش یکنواخت و کاملی را برای محصول فراهم نمایند. جلوگیری از مهاجرت اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، آروماها، روغن، رطوبت، بهبود ظاهر ماده غذایی، بهبود ویژگی‌های مکانیکی، حامل مکمل‌های تغذیه‌ای و افزودنی‌های غذایی مورد نظر از جمله اهداف استفاده از این پوشش‌ها هستند (Zimoch-korzycka *et al.*, 2015).

بامیه با نام علمی *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench متعلق به خانوادۀ مالواسه[2] است. این گیاه یک ساله بومی آفریقا است و در کشورهای مختلف جهان به ویژه در مناطق گرمسیری، نیمه گرمسیری، گرم و معتدل کشت می شود. بامیه منبع غنی از مواد معدنی، ویتامین‌ها، پروتئین، فیبرهای غذایی، کلسیم و مواد شیمیایی فعال زیستی است. بامیه با توجه به فعالیت های بیولوژیکی مختلف خود دارای سلامتی مختلفی است (Amirabbasi *et al.*, 2021). غلاف بدون دانه بامیه فاقد چربی است و حاوی مقادیر زیادی فیبر غذایی، عمدتاً شامل پلی‌ساکاریدهای پکتیکی و مقدار کمی پلی‌ساکاریدهای همی‌سلولزی از جمله زایلوگلوکان و گلوکورونوکسیلان است. پلی ساکاریدهای غلاف بدون دانۀ بامیه یک بافت ویسکوز لزج ایجاد می‌کنند (Xu *et al.*, 2020). ظرفیت امولسیونی بالای عصاره بامیه به پروتئین‌ها (Alba *et al.*, 2013) و بافت غلیظ و لزج آن به پلی ساکاریدهای آن نسبت داده می‌شود (Georgiadis *et al.*, 2011; Kontogiorgos *et al.*, 2012). پکتین هیدروکلوئید مسئول بافت ویسکوز عصاره بامیه است و از لحاظ تکنولوژیکی اهمیت قابل توجه‌ای در مواد غذایی و دارویی دارد (Kpodo *et al.*, 2017).

کیتوزان یک پلی‌ساکارید با وزن مولکولی بالا و محصول دِاستیلاسیون کیتین است. بسیاری از محققان به‌دلیل خواص ضدمیکروبی، ضدقارچی، زیست‌سازگاری، خاصیت ژله‌ای شدن و قوام دهندگی و غیرسمی بودن آن‌را در فرمولاسیون پوشش‌ها یا فیلم‌های خوراکی استفاده کرده اند (Kumar *et al.*, 2013; Ziaolhagh and Kanani, 2021). فیلم‌های کیتوزان نفوذپذیری کمی نسبت به اکسیژن و رطوبت دارند؛ بنابراین مانع بسیار خوبی برای گازها و بخار آب می باشند. از کاربردهای دیگر این ماده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی، اثر آنتی‌اکسیدانی آن است که با جذب فلزاتی که کاتالیزور واکنش اکسیداسیون چربی هستند مانع از اکسیداسیون می‌شوند (Li *et al.*, 1996; Darmadji and Izumimoto ,1994).

ملما (Mellema, 2003) نشان داد که پوشش‌های خوراکی روش مناسبی برای کاهش جذب روغن در هنگام سرخ کردن می‌باشند. از پوشش خوراکی کیتوزان برای کاهش جذب روغن در بادمجان سرخ شده استفاده شده است (Nasirvand and Javadi, 2018). از جمله هیدروکلوئیدهایی که به‌عنوان پوشش برای جذب کمتر روغن در سیب زمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌توان به هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، متیل سلولز، پکتین‌ها، آلژینات‌ها، کاراگینان، صمغ دانه خرنوب[3]، و صمغ ژلان[4] (Varela and Fiszman, 2013)، صمغ بادام کوهی[5] و ژلاتین (Eslampour and Hosseini, 2017)، پکتین و کربوکسی-متیل‌سلولز (Daraei Garmakhany *et al.*, 2021)، موسیلاژ بامیه و صمغ کربوکسی‌متیل سلولز (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) اشاره کرد.

در این تحقیق برای کاهش میزان جذب روغن، از پوشش‌دهی سیب‌زمینی با موسیلاژ بامیه و کیتوزان قبل از سرخ کردن عمیق استفاده می‌شود. اهداف این تحقیق شامل تعیین ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی خلال سیب زمینی سرخ شدۀ پوشش‌دهی شده با درصدهای مختلف موسیلاژ بامیه و کیتوزان و تعیین فرمولاسیون مناسب پوشش حاوی هیدروکلوئید کیتوزان و موسیلاژ بامیه برای کاهش جذب روغن خلال سیب زمینی می‌باشند.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی موسیلاژ بامیه

1- phase-Cooling
2- Malvaceae
3- Locust bean gum
4- Gellan gum
5- Bitter Almond Gum

بامیه (*Abelmoschus esculentus* (L.) *Moench*) مورد استفاده از بازار محلی خریداری شدند. بامیه‌ها پس از خریداری شسته شده و سر و دم آن‌ها جدا گردید. سپس در اندازه‌های حدود یک سانتی‌متری برش زده شده و داخل ظروف دربدار ریخته شدند. آب به میزان حدود دو برابر وزن بامیه‌ها اضافه شد. مدت ۷۲ ساعت بامیه‌ها داخل یخچال نگهداری شدند تا موسیلاژ کاملاً استخراج شود. سپس موسیلاژ صاف شد. این محلول به عنوان محلول ۱۰۰ درصد موسیلاژ در نظر گرفته شد. برای تهیهٔ محلول ۵۰ درصد موسیلاژ بامیه، محلول ۱۰۰ درصد با مقدار مساوی آب مقطر مخلوط و صاف گردید. موسیلاژ بامیهٔ صاف شده تا زمان اعمال تیمارها داخل یخچال در دمای حدود ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد.

آماده‌سازی محلول کیتوزان

برای تولید محلول ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد پوشش خوراکی کیتوزان، مقدار ۷/۵ و ۱۵ گرم پودر کیتوزان در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۱ درصد به کمک همزن مغناطیسی (Karazma، ایران) در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به طور کامل حل شد و بعد از آن با سود ۱ نرمال تا pH برابر ۵ خنثی شد. سپس مقدار ۵ گرم گلیسرول به عنوان پلاستیسایزر اضافه شد و تا زمان اعمال تیمارها در یخچال نگهداری گردید (Nasirvand and Javadi, 2018).

روش پوشش‌دهی سیب‌زمینی‌ها

سیب‌زمینی رقم مجنی (*Solanum tuberosum*) از بازار محلی تهیه شد. سیب‌زمینی‌ها پس از پوست‌گیری به طول حدود ۳ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر با یک چاقوی تیز برش زده شدند. خلال‌های برش خورده تا قبل از اعمال تیمار پوشش‌دهی داخل آب سرد قرار داده شدند تا از تغییر رنگ آن‌ها جلوگیری شود. خلال‌ها ابتدا در محلول کلریدکلسیم ۰/۵ درصد با دمای ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه بلانچ شدند. سپس آبکش شده و پس از خشک شدن رطوبت سطحی، برای مدت ۵ دقیقه داخل محلول‌های پوششی با دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019). نمونه‌ها به مدت سه دقیقه روی صافی قرار گرفتند تا محلول اضافی آن‌ها جدا شود. سپس جهت خشک شدن رطوبت سطحی، نمونه‌ها به مدت ۹۰ ثانیه داخل آون (Froilabo، فرانسه) با دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند.

روش سرخ کردن سیب‌زمینی‌های پوشش‌دهی شده

سیب‌زمینی‌ها پس از پوشش‌دهی با محلول‌های کیتوزان و موسیلاژ بامیه داخل سرخ‌کن خانگی (Tefal، فرانسه) به مدت ۷ دقیقه در دمای حدود ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد سرخ شدند. زمان و دمای سرخ کردن با توجه به آزمایشات اولیه به دست آمدند. در دما و زمان بالاتر رنگ محصول تیره و در کمتر از این مقادیر سیب‌زمینی‌ها حالت خام داشتند. بعد از سرخ شدن، نمونه‌ها برای ۱۵ دقیقه روی صافی قرار داده شدند تا روغن اضافی آن‌ها جدا شود. پس از جدا شدن روغن اضافی و سرد شدن، نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایشات داخل کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی در حضور گاز ازت بسته‌بندی شدند (Taghavi *et al.*, 2018).

تعیین مقدار رطوبت

برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت حدود ۵گرم از نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال (Sartorius) با دقت ۰/۰۰۱ وزن شده و در آون (TakAzma، ایران) با دمای ۱۰۵درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. هر نیم ساعت یکبار، نمونه‌ها از آون خارج شده و پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین شده و مجدداً در آون قرار داده شدند. این کار تا زمانی انجام گرفت، که وزن نمونه‌ها در دو توزین متوالی یکسان باقی ماند. مقدار رطوبت نمونه‌های سیب‌زمینی، بر حسب درصد، از طریق رابطه ۱محاسبه گردید:

$$Moisture = \frac{M1-M2}{M0} \quad (۱)$$

که در آن،M1 وزن ظرف و نمونه قبل از خشک‌کردن (بر حسب گرم)، M2 وزن ظرف و نمونه بعد از خشک‌کردن(بر حسب گرم) و M0 وزن نمونه اولیه (بر حسب گرم) می‌باشند(Jafari *et al.*, 2019).

مقدار جذب روغن

برای اندازه گیری مقدار جذب روغن یا میزان چربی از روش سوکسله (Jerhardt، آلمان) استفاده شد. به این منظور حدود ۵ گرم از نمونه را توزین نموده و چربی با استفاده از حلال ان-هگزان به مدت ۶ ساعت استخراج گردید (Shakouri *et al.*, 2021).

عدد پراکسید و عدد اسیدی

عدد پراکسید به روش لی و عدد اسیدی به روش تیتراسیون اندازه گیری شدند (Parvneh, 2007).

آزمون حسی

برای انجام آزمون حسی از روش محصول‌گرا (امتیازدهی شدت یک ویژگی) و با امتیازبندی هدونیک پنج نقطه‌ای استفاده شد. برای این کار از ۱۵ نفر ارزیاب آموزش دیده استفاده شد. از ارزیاب‌ها خواسته شد تا نمونه‌های خلال سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی را مصرف کرده و از لحاظ رنگ، طعم و بو به آن‌ها امتیازی بین ۱ تا ۵ بدهند. امتیاز یک برای نمونه‌های بسیار نامطلوب و امتیاز ۵ برای نمونه‌های بسیار مطلوب در نظر گرفته شد (Sabbaghi *et al.*, 2019).

شاخص‌های رنگ

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ از تجزیه و تحلیل تصویر استفاده شد. بدین منظور با کمک یک اسکنر مدل ColorPage-HR7X Slim Genius تصاویر با وضوح dpi ۳۰۰ از نمونه‌ها تهیه شد. سپس تصاویر در داخل نرم افزار ImageJ نسخه ۱/۵۰ قرار گرفته و استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگ[1] شاخص‌های قرمز–سبز، زرد–آبی و روشنایی محاسبه شدند (Sabbaghi *et al*., 2018). شاخص روشنایی (L^*) معرف میزان روشنی نمونه است و بین صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است. شاخص قرمز–سبز (a^*) میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و در دامنه بین ۱۲۰- (سبز) و ۱۲۰+ (قرمز) قرار دارد. شاخص زرد–آبی (b^*) نیز میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد نشان داده و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی) تا ۱۲۰+ (زرد) متغیر است (Ziaolhagh *et al*., 2017; Abramoff *et al*., 2005). میزان تغییرات کلی رنگ نسبت به سیب زمینی خام (E) از رابطه ۲ به‌دست آمد. L_0^*، a_0^* و b_0^* به ترتیب میزان روشنایی، قرمزی و زردی سیب‌زمینی‌ها قبل از فرایند سرخ کردن می باشند.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \qquad (۲)$$

تعیین سفتی

به‌منظور تعیین میزان سفتی هر نمونه از دستگاه پنترومتر دستی (مدل FT011 ساخت ایتالیا) که بر حسب کیلوگرم درجه‌بندی شده بود استفاده گردید. به این ترتیب که پروب دستگاه تا خط نشانه موجود بر روی آن (حدود ۵ میلی‌متر) داخل بافت خلال‌های سیب‌زمینی فرو برده شده و مقدار نیروی وارده (بر حسب گرم) در محل نشانه خوانده شد و میانگین ۶ تکرار به‌عنوان شاخصی از سفتی گزارش گردید (Sabbaghi *et al*., 2017).

درصد پوشش‌دهی

درصد پوشش‌دهی از اختلاف وزن بین نمونه‌های پوشش‌دهی شده و بدون پوشش مطابق با رابطه ۳ محاسبه شد.

$$Coverage = \frac{C-I}{I} \times 100 \qquad (۳)$$

که در این رابطه C وزن نمونه‌های خام پوشش‌دهی شده (گرم) و I وزن اولیه نمونه‌های بدون پوشش (گرم) است (Taghavi *et al*., 2018).

تیمارها و طرح آماری

تیمارهای مورد استفاده شامل موسیلاژ بامیه در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و محلول کیتوزان در سه سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵) درصد بود. سطح صفر پوشش‌ها به عنوان نمونهٔ شاهد در نظر گرفته شد و سطح بالای پوشش‌ها با توجه به آزمایشات اولیه به‌دست آمد. برای تجزیه و تحلیل واریانس و تعیین بهترین شرایط پوشش‌دهی، از روش سطح پاسخ در قالب طرح آزمایشی مرکب مرکزی[2] با ۵ تکرار در نقطه مرکزی با کمک نرم‌افزار Design Expert 8.0.7.1 استفاده شد. نمودارها نیز با کمک همین نرم‌افزار رسم شدند.

نتایج و بحث

درصد پوشش‌دهی

جدول ۱ مدل‌های ارائه شده برای ویژگی‌های مختلف خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را بر حسب مقادیر واقعی نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مدل پیش‌بینی شده برای درصد پوشش‌دهی کیتوزان و موسیلاژ بامیه مدل درجه سوم کاهش یافته با ضریب تبیین ۰/۹۲ بود ($p<0.01$). اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه و کیتوزان ($p<0.01$) و همچنین اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه در توان دوم غلظت کیتوزان ($p<0.05$) معنی‌دار بود.

با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه درصد پوشش‌دهی آن نیز کاهش یافت، به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه میزان پوشش دهی تنها ۰/۵ درصد بود. در مورد کیتوزان با افزایش غلظت آن میزان پوشش‌دهی افزایش یافت و در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان میزان پوشش‌دهی ۱/۸۷ درصد بود. دلیل آن‌را می‌توان به افزایش ویسکوزیتهٔ محلول کیتوزان با افزایش غلظت نسبت داد. شکل ۱ اثر متقابل غلظت های مختلف بامیه و کیتوزان بر درصد پوشش‌دهی خلال‌های سیب-زمینی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر یکدیگر اثر هم‌افزایی داشتند، به‌این معنی‌که بیشترین پوشش‌دهی در غلظت ۱/۲ درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۲/۳۸ درصد) و کمترین آن در نمونهٔ شاهد یعنی غلظت صفر کیتوزان و موسیلاژ بامیه (۰/۱۱ درصد) مشاهده گردید. در مورد درصد پوشش دهی دو هیدروکلوئید CMC و موسیلاژ بامیه نیز، هم‌راستا با نتایج ما نشان داده شده است که درصد پوشش‌دهی ایجاد شده توسط موسیلاژ بامیه کمتر از پوشش‌دهی CMC بوده و این دو هیدروکلوئید نیز با یکدیگر اثر هم‌افزایی داشته‌اند (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019).

1- Color space convertor

2- Central Composite Design

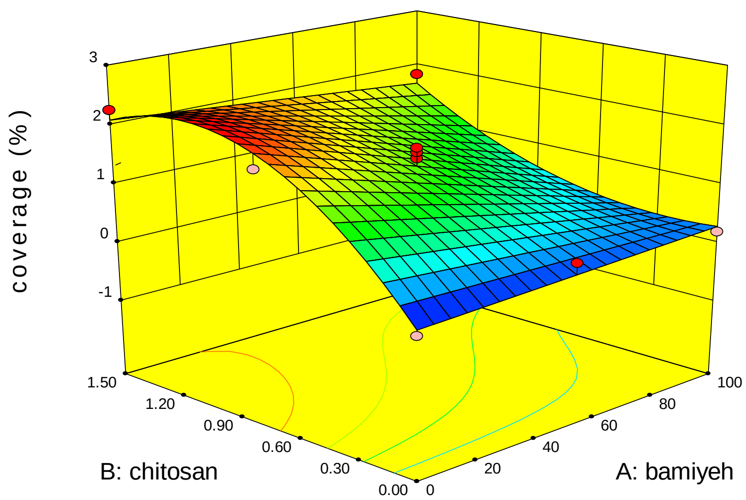
جدول ۱- مدل‌های به‌دست آمده برای ویژگی‌های مختلف خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

Table 1- Obtained models for different characteristics of fried potato slices

ویژگی **Property**	مدل **Model**
Coating (%) پوشش‌دهی	$C=0.095+0.00202A+4.13B-0.045AB-1.86B^2+0.027AB^2$
Oil Uptake (%) میزان جذب روغن	$O=20.63-0.095A-1.549B+0.029AB+0.0006A^2-0.79B^2$
Moisture content (%) محتوی رطوبت	$M=56.63+0.082A+3.075B$
Stiffness سفتی بافت	$S=1.82-0.00538A-0.04B+0.0052AB$
a*	$a=-3.29+0.02A+5.96B-0.2AB-0.000157A^2+0.00145A^2B$
L*	$L=68.69-0.18A-0.32B+0.23AB+0.00158A^2-0.00202A^2B$
ΔE شدت تغییرات رنگ	$\Delta E=15.38-0.21A+17.45B-0.33AB+0.00167A^2-11.84B^2+0.2AB^2$
Flavor score امتیاز طعم	$F=3.82-0.00497A+2.56B-0.01AB+0.00014A^2-1.149B^2$
Texture score امتیاز بافت	$T=4.83-0.024A+1.04B-0.0033AB+0.000251A^2-0.659B^2$

در مدل‌های ارائه شده، A غلظت موسیلاژ بامیه و B غلظت کیتوزان بر حسب درصد می‌باشند.

In the presented models, A is the concentration of okra mucilage and B is the concentration of chitosan in percentage terms



شکل ۱- اثر متقابل غلظت‌های مختلف بامیه و کیتوزان بر درصد پوشش‌دهی خلال‌های سیب‌زمینی

Fig. 1- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the coating percentage of potato slices

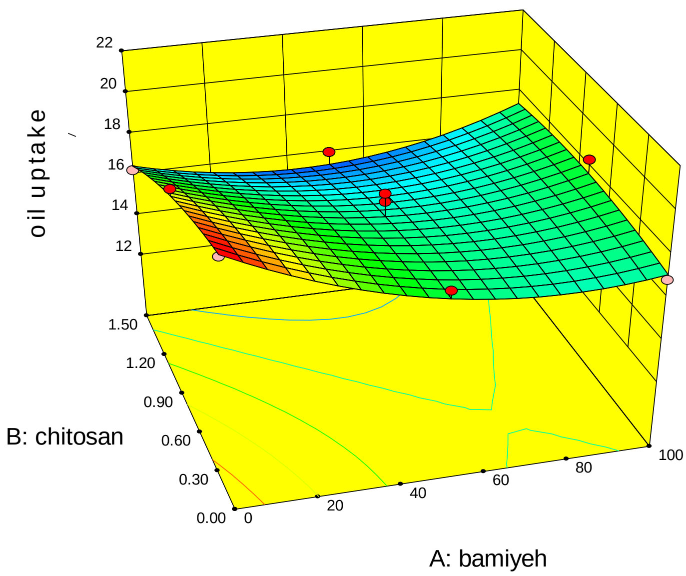
میزان جذب روغن

مدل پیش‌بینی شده برای درصد جذب روغن خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شدهٔ پوشش‌دهی شده یک مدل درجه دوم با ضریب تبیین[1] ۰/۷۴ بود (جدول ۱). با افزایش غلظت کیتوزان درصد جذب روغن خلال‌های سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان جذب در غلظت ۱/۵ درصد به مقدار ۱۵/۴۶ درصد مشاهده شد، ولی در مورد موسیلاژ بامیه، با افزایش غلظت آن تا حدود ۵۵ درصد میزان جذب روغن تا۱۶/۸۱ درصد کاهش و با افزایش بیشتر آن تا ۱۰۰ درصد میزان جذب روغن خلال‌های سرخ شدهٔ سیب‌زمینی کمی افزایش یافت. شکل ۲ اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر درصد جذب روغن خلال‌های سرخ شدهٔ سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود غلظت موسیلاژ بامیه و غلظت کیتوزان بر هم اثر هم افزایی[2] داشته و بیشترین جذب روغن در نمونهٔ شاهد (۲۰/۶ درصد) و کمترین آن در نمونهٔ خلال سرخ شدهٔ سیب‌زمینی پوشش‌دهی شده با ۴۱ درصد موسیلاژ بامیه و ۱/۵ درصد کیتوزان (۱۵/۴۴ درصد) مشاهده گردید($p<0.05$). این امر به‌دلیل تأثیر پوشش‌دهی بر کاهش از دست رفتن آب و تأثیر بر مکانیسم جذب روغن در اثر جایگزینی آب می‌باشد. یکی دیگر از دلایل تأثیر پوشش‌دهی بر جذب روغن اثر آن بر لوله‌های

1- Coefficient of Determination

2- Synergistic effect

موبینه سطح محصول و کاهش جذب روغن در مرحله فاز سرد شدن است. پوشش با انسداد منافذ سطحی موجب کاهش عمق نفوذ روغن در مرحله سرد شدن تحت تأثیر فشار موئینگی می‌گردد. همچنین پوشش‌دهی بر خروج رطوبت و در نتیجه ضریب انتقال حرارت جابه-جایی مؤثر است که روی خصوصیات کیفی تأثیر می‌گذارد (Sabbaghi *et al.*, 2015).



شکل ۲- اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر درصد جذب روغن خلال‌های سرخ شدهٔ سیب‌زمینی

Fig. 2- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the oil absorption of potato slices

درصد رطوبت

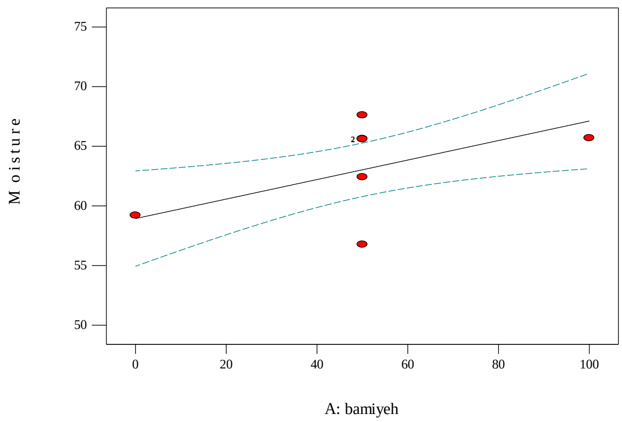
مدل پیش‌بینی شده برای درصد رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شدهٔ پوشش‌دهی شده یک مدل خطی با ضریب تبیین ۰/۵ بود (جدول ۱). در این مورد تنها اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه در سطح آماری ۹۵ درصد ($p<0.05$) معنی‌دار بود. شکل ۳ اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه بر مقدار رطوبت خلال‌های سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه درصد رطوبت باقی‌مانده در خلال‌های سرخ شدهٔ سیب-زمینی نیز افزایش یافته است. به‌طوری که بیشترین مقدار رطوبت در غلظت ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه به میزان ۶۷/۱۶ درصد بود. در طی فرایند سرخ کردن روغن جایگزین آب می‌شود. با افزایش غلظت پوشش‌خوراکی رطوبت کمتری از محصول خارج می‌شود که یک دلیل آن می‌تواند ایجاد پیوند بین هیدروکلوئید و آب باشد (Karimi and Esmaeilzadeh Kenari, 2015). در اینجا اثر موسیلاژ بامیه نسبت به کیتوزان در جلوگیری از خروج رطوبت بیشتر بوده است که احتمالاً دلیل آن بیشتر بودن پیوندهای بین آب و صمغ در بامیه نسبت به کیتوزان است. خروج رطوبت کمتر از محصول به بستر سرخ کردن باعث می‌شود تا واکنش‌های هیدرولیز روغن که در حضور آب تشدید می‌یابند کمتر شود و این امر در افزایش عمر مفید روغن نیز موثر خواهد بود. اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) برخلاف نتایج تحقیق جاری نشان دادند که اثر موسیلاژ بامیه در جلوگیری از کاهش رطوبت خلال سیب‌زمینی سرخ شده کمتر از CMC می‌باشد که آن را به کمتر بودن نفوذپذیری پوشش حاصل از CMC نسبت به موسیلاژ بامیه ربط دادند.

عدد پراکسید

مدل پیش‌بینی شده برای عدد پراکسید خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شدهٔ پوشش‌دهی شده معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه و اثر توان دوم غلظت کیتوزان در سطح آماری ۹۵ درصد ($p<0.05$) معنی‌دار بود. شکل ۴ اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر عدد پراکسید خلال‌های سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین میزان عدد پراکسید در غلظت ۰/۳ درصد کیتوزان (۲۱/۱۸ میلی‌اکی والان بر گرم نمونه) و بیشترین عدد پراکسید در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان (۳۳/۸۱ میلی‌اکی‌والان بر گرم نمونه) بود. پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک سد از تماس هوا با روغن موجود در محصول سرخ شده جلوگیری کرده و لذا عدد پراکسید را کاهش می‌دهند. علاوه بر این باعث کاهش جذب روغن می‌شوند که خود می‌تواند موجب محدود شدن تغییرات عدد پراکسید شود. همچنین با وجود پوشش در سطح ماده غذایی سرخ شده خروج رطوبت به حداقل رسیده یا کنترل می‌شود

و این امر موجب کاهش واکنش‌های هیدرولیز و پلیمریزاسیون و جلوگیری از تولید عوامل فعال در سطح در روغن می‌گردد. در نتیجه از افزایش ویسکوزیته روغن جلوگیری می‌شود. عدم پلیمریزاسیون و جلوگیری از افزایش ویسکوزیته موجب افزایش زاویه تماسی شده و کشش بین سطحی (در سطح تماس روغن و هوا در محصول متخلخل) را کاهش داده و در نهایت با کاهش جذب روغن و حفظ کیفیت روغن موجب کاهش عوامل اکیسیداسیون در محصول یا محدود شدن تولید عوامل اکسیداسیون طی نگهداری می گردد (Dana and Saguy, 2006).

در همین راستا، نصیروند و جوادی (Nasirvand and Javadi, 2018) بیان کردند که پوشش‌دهی بادمجان با کیتوزان عدد پراکسید بادمجان‌های سرخ شده را کاهش می‌دهد. در بررسی آن‌ها اثر غلظت ۱ درصد کیتوزان بیشتر از اثر غلظت ۱/۵ درصد بود.

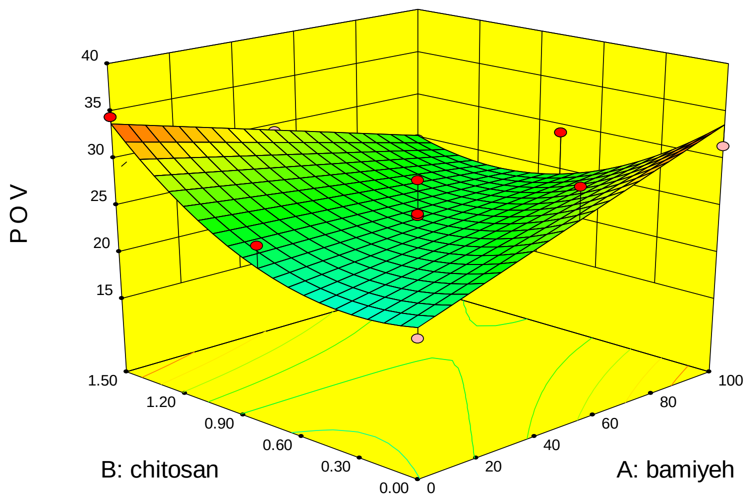


شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه بر مقدار رطوبت خلال‌های سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی

خط‌چین‌های رنگی (----) نشان‌دهنده نوار اطمینان در سطح ۹۵ درصد می‌باشند.

Fig. 3- Effect of okra and chitosan concentrations on the moisture content of potato slices

The colored dashed lines (----) indicate the confidence bar at the 95 level



شکل ٤- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر عدد پراکسید (میلی‌اکی‌والان بر گرم) خلال‌های سیب‌زمینی

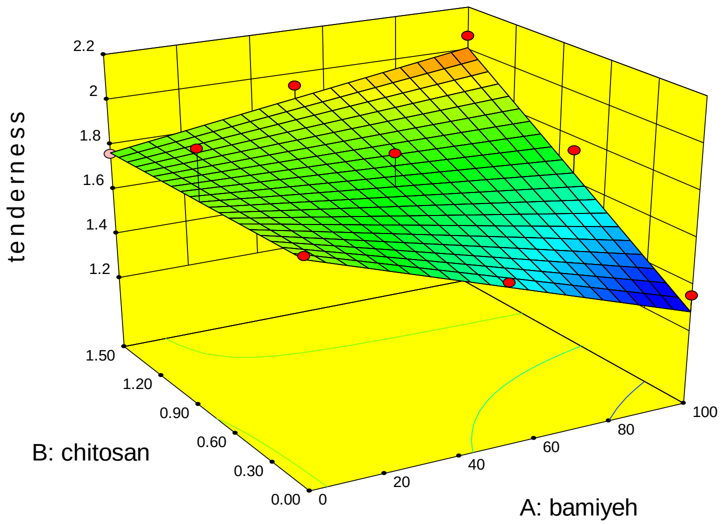
Fig. 4- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the peroxide value (meq/g) of potato slices

عدد اسیدی

اثر هیچ‌یک از عوامل بر مقدار عدد اسیدی خلال‌های سرخشدهٔ سیب‌زمینی معنی‌دار نبود. برخلاف نتایج این تحقیق، نصیروند و جوادی (Nasirvand and Javadi, 2018) نشان دادند که پوشش‌دهی بادمجان با کیتوزان سبب افزایش اسیدیته بادمجان‌های سرخ شده می شود و دلیل آن را به بالاتر بودن رطوبت نمونه‌ها پوشش‌دهی شده نسبت دادند. در رطوبت بالاتر هیدرولیز تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها بیشتر شده و در نتیجه مقدار اسیدهای چرب آزاد افزایش می‌یابد.

سفتی بافت

مدل پیش‌بینی شده برای سفتی بافت خلال‌های سرخشدهٔ سیب زمینی یک مدل خطی با اثرات متقابل و با ضریب تبیین ۰/۶ بود. شکل۵ اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر میزان سفتی خلال‌های سرخشدهٔ سیب‌زمینی را نشان می‌دهد در غلظت‌های بالای بامیه و پایین کیتوزان سفتی بافت کم (ناحیهٔ آبی در شکل ۵) و در غلظت‌های بالای کیتوزان و بامیه (ناحیهٔ قرمز در شکل ۵) سفتی بافت زیاد بود، به‌طوری‌که کمترین سفتی در غلظت ۱۰۰ درصد بامیه و صفر درصد کیتوزان (۱/۲۹ کیلوگرم) و بیشترین آن در غلظت ۱۰۰ درصد بامیه و ۱/۵ درصد کیتوزان (۲/۰۱ کیلوگرم) مشاهده شد. افزایش سفتی بافت در حضور پوشش‌های خوراکی را می‌توان به ایجاد لایه مقاوم در سطح سیب‌زمینی توسط کیتوزان نسبت داد که سبب کاهش جذب روغن نیز می‌شود. همچنین اثر هم‌افزایی کیتوزان و موسیلاژ بامیه باعث ایجاد لایه مقاوم شده و در اثر ایجاد پیوند بین آن‌ها سفتی بافت بیشتر شد. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده توسط اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) که از صمغ CMC و مسیلاژ بامیه برای پوشش‌دهی خلال سیب‌زمینی استفاده کرده بودند و قلعه‌شاهی و همکاران (Ghaleshahi *et al*., 2015) که از صمغ CMC، زانتان و ریحان برای پوشش‌دهی سیب‌زمینی استفاده کرده بودند مطابقت دارد.



شکل ۵- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر میزان سفتی (کیلوگرم) خلال‌های سرخشدهٔ سیب‌زمینی

Fig. 5- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the stiffness (kg) of potato slices

شاخص‌های رنگ

شاخص‌های رنگ شامل شاخص زردی (b*)، قرمزی (a*)، روشنایی (L*) و میزان تغییر رنگ خلال‌های سیب‌زمینی سرخشده نسبت به خام (ΔE) می‌باشند. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که غلظت های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه تأثیر معنی‌داری بر شاخص زردی نمونه‌ها نداشتند، ولی شاخص قرمزی و روشنایی و همچنین شدت تغییر رنگ نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفتند. مدل‌های پیش‌بینی شده برای شاخص *a، *L و ΔE بر حسب مقادیر واقعی جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

غلظت موسیلاژ بامیه و اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر شاخص *a نمونه‌ها در سطح آماری ۹۹ درصد معنی‌دار بودند. با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه تا حدود ۶۰ درصد شاخص *a یا میزان قرمزی نیز به تدریج کاهش یافت که می‌تواند به کاهش تولید رنگدانه‌های واکنش مایلارد ارتباط داده شود. وجود پوشش خوراکی

باعث حفظ رطوبت محصول شده و واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد در محصول کم می‌شود که این امر منجر به کاهش شاخص قرمزی به‌دلیل کاهش تولید رنگدانه ملانوئیدین می‌گردد (Sabbaghi *et al.*, 2016). اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) نیز مطابق با نتایج ما نشان دادند که در غلظت بالای موسیلاژ بامیه طیف رنگ سبز نمونه‌های سیب‌زمینی افزایش می‌یابد و در CMC باعث افزایش طیف رنگ قرمز می‌شود. خضری‌پورعرب و همکاران (Khezripourarab *et al.*, 2017) نیز نشان دادند که پوشش‌خوراکی مالتودکسترین سبب افزایش قرمزی خلال‌های سیب زمینی سرخ شده می‌شود.

در مورد اثر متقابل غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه و کیتوزان بیشترین میزان a^* در غلظت‌های بالای کیتوزان و پایین موسیلاژ بامیه (ناحیهٔ قرمز در شکل ۶-الف) و کمترین آن در ناحیهٔ آبی شکل ۶-الف مشاهده شد، بیشترین a^* در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۵/۵۵) و کمترین آن در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان و ۷۱ درصد موسیلاژ بامیه (۴/۱۲-) مشاهده شد.

در تحقیق جاری اثر غلظت‌های بامیه و کیتوزان بر شاخص b^* (زردی) معنی‌دار نبود، ولی برخلاف نتایج این تحقیق، اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) نشان دادند که پوشش‌دهی خلال سیب‌زمینی با افزایش غلظت بامیه و CMC میزان زردی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2017) نیز نشان دادند که با افزایش غلظت سویا و صمغ عربی پوشش دهی چیپس سیب‌زمینی بر میزان زردی نمونه‌ها افزوده می‌شود.

مدل به‌دست آمده برای میزان روشنایی (L^*) نمونه‌ها یک مدل درجه سوم کاهش یافته با ضریب تبیین ۰/۷۸ بود (جدول ۱). همان گونه که در شکل ۶-ب مشاهده می‌شود بیشترین روشنایی در نمونه‌ها مربوط به نمونهٔ شاهد؛ یعنی صفر درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۶۸/۵۴) و کمترین روشنایی در نمونه‌های با صفر درصد کیتوزان و ۵۹ درصد موسیلاژ بامیه مشاهده شد (۶۳/۳۷). دلیل کاهش میزان روشنایی محصول با افزایش غلظت کیتوزان و بامیه می‌تواند با توجه به حرارت سرخ کردن و ماهیت کربوهیدراتی این دو صمغ، افزایش واکنش‌های میلارد باشد. این نتایج با نتایج اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) در مورد صمغ‌های بامیه و CMC و اسماعیل‌پور و حسینی (Eslampour and Hosseini, 2017) در مورد صمغ بادام کوهی و ژلاتین مطابقت داشت.

در مورد میزان تغییر رنگ (ΔE) خلال‌های سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی های پوشش‌دهی شده نسبت به خلال‌های سیب‌زمینی خام مشاهده شد که مدل درجه سوم کاهش یافتهٔ پیشنهادی با ضریب تبیین ۰/۹۵ معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی‌ها نشان داد که بیشترین تغییر رنگ در نمونه پوشش‌دهی شده با صفر درصد موسیلاژ بامیه و ۰/۷۵ درصد کیتوزان (۲۱/۸) و کمترین آن در نمونه پوشش‌دهی شده با ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه و ۱/۵ درصد کیتوزان (۵/۷۵) مشاهده شد (شکل ۶-ج).

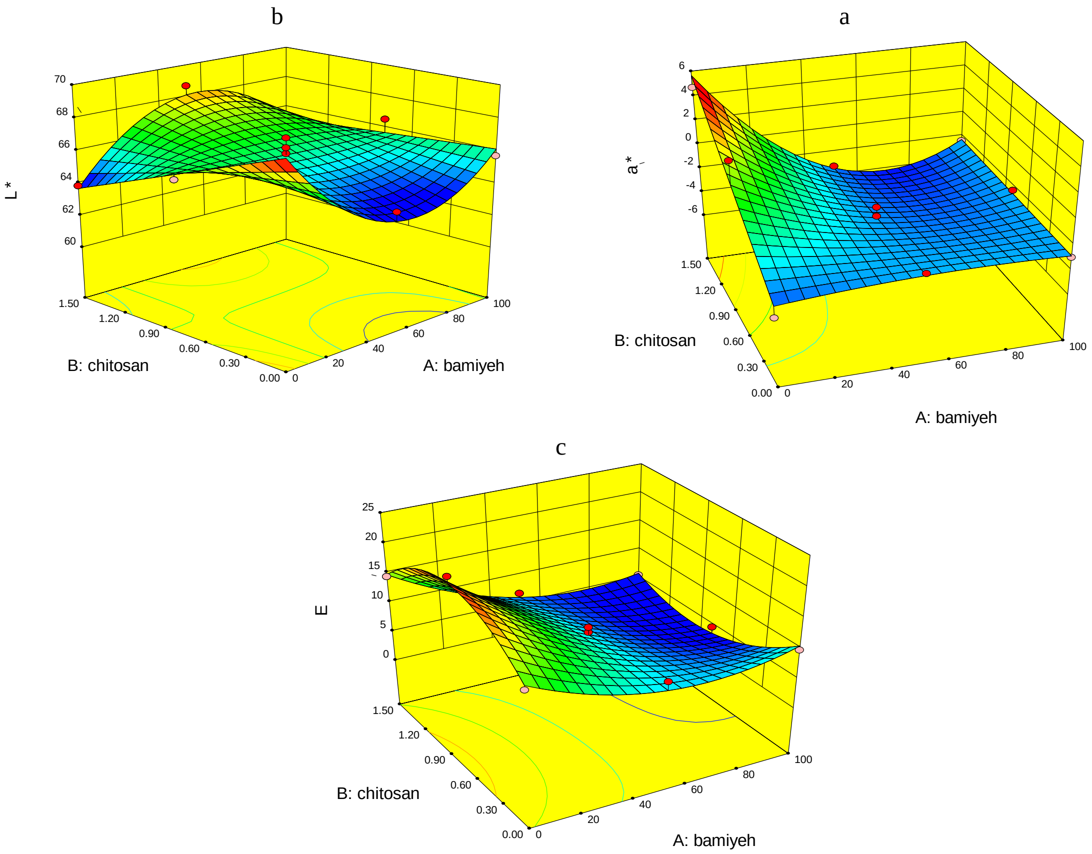
ویژگی‌های حسی

در مورد ویژگی‌های حسی اثر هیچ‌یک از عوامل بر امتیاز رنگ و امتیاز بوی نمونه‌ها معنی‌دار نبود. مدل پیش‌بینی شده برای امتیاز طعم نمونه‌ها یک مدل درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۷۸ بود (جدول ۱) و تنها اثر توان دوم کیتوزان ($p<0.01$)و اثر متقابل غلظت‌های موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر امتیاز طعم معنی‌دار بود ($p<0.05$).

امتیاز مربوط به طعم نمونه‌ها با افزایش غلظت کیتوزان تا ۰/۸۳ درصد افزایش یافت (امتیاز ۴/۸۵) و بعد از آن شروع به کاهش کرد. دلیل کاهش امتیاز طعم در غلظت‌های بالاتر کیتوزان این است که در این غلظت‌ها به علت جذب کمتر روغن، طعم و بوی روغنی که در طعم محصول تأثیر زیادی دارد کاهش می‌یابد. بیشترین امتیاز مربوط به طعم برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه و ۰/۷۵ درصد کیتوزان (۵/۲۶) و کمترین آن مربوط به نمونه‌های پوشش‌دهی شده با ۱۸ درصد موسیلاژ بامیه و صفر درصد کیتوزان (۳/۷۹) بود (شکل ۷).

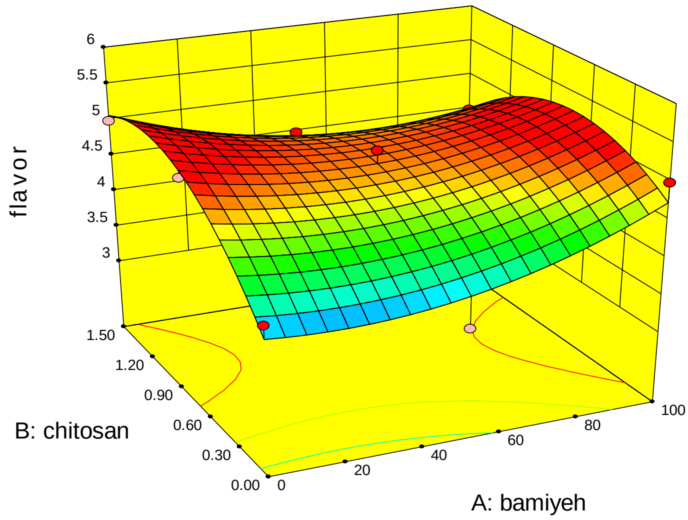
در مورد ارزیابی حسی بافت نیز مدل پیش‌بینی شده مدل درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۷۶ بود (جدول ۱) که تنها اثر توان دوم غلظت موسیلاژ بامیه ($p<0.05$) و اثر توان دوم غلظت کیتوزان ($p<0.05$) معنی‌دار بودند. با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه تا ۵۰ درصد امتیاز بافت نمونه‌ها کاهش یافته و بعد از آن افزایش یافت. امتیاز بافت نمونه‌ها با افزایش غلظت کیتوزان تا حدود ۰/۵۵ درصد افزایش و بعد از آن کاهش یافت.

در مورد پذیرش کلی، مدل پیش‌بینی شده معنی‌دار نبود، ولی اثر توان دوم غلظت موسیلاژ و کیتوزان معنی‌دار بودند ($p<0.05$). امتیاز مربوط به پذیرش کلی تا غلظت ۵۰ درصد موسیلاژ بامیه کاهش و بعد از آن افزایش یافت. با افزایش غلظت کیتوزان تا ۰/۷۵ درصد امتیاز پذیرش کلی افزایش و بعد از آن کاهش یافت.



شکل ٦- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر (الف) شاخص قرمزی (a*)، (ب) شاخص روشنایی (L*) و (ج) شدت تغییر رنگ (ΔE) خلال‌های سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی

Fig. 6- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the (a) redness (a*), (b) lightness (L*) amd color changes intensity (ΔE) of potato slices



شکل ۷- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر امتیاز طعم خلال‌های سرخ‌شدهٔ سیب‌زمینی

Fig. 7- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the taste (scores) of potato strips

نصیروند و جوادی (Nasirvand and Javadi, 2018) در بررسی خود روی بادمجان سرخ شده نشان دادند که ویژگی‌های حسی بادمجان سرخ شدۀ پوشش‌دهی شده با کیتوزان مشابه نمونۀ شاهد بوده و با نمونه فاقد پوشش اختلاف معنی‌داری ندارد. اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) نیز تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های حسی نمونه‌های سیب‌زمینی پوشش‌دهی شده با بامیه و CMC پیدا نکردند. حجتی و همکاران (Hojjati *et al*., 2020) از هیدروکلوئیدهای مختلف برای پوشش‌دهی فلافل سرخ شده استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش میزان صمغ از امتیاز طعم فلافل‌ها کاسته می‌شود. آن‌ها در مورد امتیاز بافت و پذیرش کلی فلافل‌های پوشش‌دهی شده نیز نشان دادند که با افزایش میزان هیدروکلوئیدها تردی بافت نمونه‌ها و پذیرش کلی آن‌ها بیشتر می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پروژه نشان داد که با استفاده از ترکیب مناسب هیدروکلوئیدهای کیتوزان و موسیلاژ بامیه می‌توان جذب روغن در خلال‌های سیب‌زمینی را کاهش داد.

به منظور مشخص کردن بهترین شرایط برای پوشش‌دهی خلال های سرخ‌شدۀ سیب‌زمینی بهینه‌یابی عددی با کمک نرم‌افزار دیزاین اکسپرت صورت گرفت. بهینه‌یابی به‌منظور حداقل کردن مصرف موسیلاژ بامیه و کیتوزان صورت گرفت به‌طوری‌که خلال‌های سرخ‌شدۀ سیب‌زمینی بیشترین پوشش را داشته و کمترین مقدار جذب روغن، عدد پراکسید، عدد اسیدی و تغییر رنگ و بیشترین مقدار رطوبت، امتیاز طعم و بافت را داشته باشند. بر این اساس پوشش‌دهی با ۷۴ درصد بامیه و ۰/۸۹ درصد کیتوزان به‌عنوان روش بهینه برای پوشش‌دهی خلال‌های سیب‌زمینی به‌دست آمد. درصد مطلوبیت این بهینه‌یابی ۷۱ درصد بود که درصد معقولی می‌باشد.

میزان جذب روغن توسط غذاهای سرخ‌شدۀ مختلف یکی از موضوعات تغذیه‌ای جدی در سلامت انسان می‌باشد. در این پروژه اثر دو هیدروکلوئید موسیلاژ بامیه و کیتوزان برمیزان جذب روغن مورد بررسی قرار گرفت، درحالی‌که در کشور گیاهان مختلفی وجود دارند که اثرات صمغ یا موسیلاژ آن‌ها هنوز مورد بررسی قرار نگرفته است.

منابع

1. Abramoff, M.D., Magalhães, P.J., & Ram, S.J. (2005). *Image processing with ImageJ Part II. Biophotonics International*, *11*(7): 36–43.
2. Alba, K., Ritzoulis, C., Georgiadis, N., & Kontogiorgos, V. (2013). Okra extracts as emulsifiers for acidic emulsions. *Journal of Food Research International*, *54*, 1730-1737. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.051
3. Amirabbasi, S., Elhamirad, A.H., Saeediasl, M.R., Armin, M., & Ziaolhagh, S.H.R. (2021). Optimization of polyphenolic compounds extraction methods from Okra stem. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(1), 717-734. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00641-8
4. Ashrafi Yorganloo, R., & Gheybi, N. (2019). Effect of okra mucilage and cmc on the oil uptake and physicochemical properties of french fries during deep-fat frying. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *50*(1), 203-211. https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.263603.665083
5. Bouchon, P., Aguilera, J.M., & Pyle, D.L. (2015). Structure oilabsorption relationships during deep-fat frying. *Journalof Food Science*, *68*, 2711-2716. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05793.x
6. Dana, D., & Saguy, I.S. (2006). Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, *128*, 267-27. https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.11.013
7. Daraei Garmakhany, A., Aghajani, N., & Kashiri, M. (2011). Use of hydrocolloids as edible covers to produce low fat French fries. *Latin American Applied Research*, *41*, 211-216.
8. Daraei Garmakhany, A., Aghajani, N., & Dalvi-Isfahan, M. (2021). Optimization of the effect of pectin and carboxymethyl cellulose gums on oil uptake, textural properties and color changes of French fries using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. *18*(116), 39-53. https://dx.doi.org/10.52547/fsct.18.116.39
9. Darmadji, P., & Izumimoto, M. (1994). Effect of chitosan in meat preservation. *Meat Science*, *38*, 243-254. https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90114-7
10. Debeaufort, F., & Voilley, A. (2009). Lipid-based edible films and coatings. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. 135-168.
11. Eslampour, A., & Hosseini, E. (2017). The eeffects of coating with bitter almond gum and gelatin on the oil uptake reduction, physical and sensorial properties of deep-fried potato slices. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, *12*(4), 95-102.

12. Georgiadis, N., Ritzoulis, C., Sioura, G., Kornezou, P., Vasiliadou, C., & Tsioptsias, C. (2011). Contribution of okra extracts to the stability and rheology of oil-in-water emulsions. *Journal of Food Hydrocolloids*, *25*, 991-999. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.014
13. Ghaleshahi, A.Z., Farhoosh, R., & Razavi, S.M.A. (2015). Effect of Basil seed hydrocolloid on the oil uptake and physical properties of potato strips during deep-fat frying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *11*(4), 309-308. https://doi.org/ 10.22067/IFSTRJ.V1394I11.38747
14. Hojjati, M., Mehrnia, M.A., Kakaaghazadeh, A., & Feghhi, S. (2020). Effects of edible hydrocolloids on quality characteristics of the fried falafels emphasize on decreases in oil uptakes. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, *14*(4), 77-88.
15. Jafari, N., Ziaolhagh, S.H.R., & Nafchi, A.R.M. (2019). Study on the effect of osmotic pretreatment on the quality of air-dried potato sticks using response surface methodology. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, *15*(2), 355-367.
16. Juaniz, I., Zocco, C., Mouro, V., Cid, C., & Pena, P. (2016). The Effect of frying process on furan content in foods and assessment of furan exposure of Spanish population. *LWT-Food Science and Technology*, *68*, 549-555. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.061
17. Karimi, N., & Esmaeilzadeh Kenari, R. (2015). Functionality of Coatings with Salep and Basil Seed Gum for Deep Fried Potato Strips. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1-8. https://doi.org/10.1007/s11746-015-2762-9
18. Khezripourarab, M., Hojjati, M., & Samavati, V. (2017). Effect of maltodextrin coating on properties of french fries using response surface methodology. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. *13*(60):25-36.
19. Kontogiorgos, V., Margelou, I., Georgiadis, N., & Ritzoulis, C. (2012). Rheological characterization of okra pectins. *Journal of Food Hydrocolloids*, *29*, 356-362. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.003
20. Kpodo, F.M., Agbenorhevi, J.K., Alba, K., Bingham, R.J., Oduro, I.N., Morris, G.A., & Kontogiorgos, V. (2017). Pectin isolation and characterization from six okra genotypes, *Food Hydrocolloids*, *72*, 323-330. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.014
21. Kumar, D., Tony, D., Kumar, A., Kumar, K., Rao, B., & Nadendla, R. (2013). A review on *Abelmoschus esculentus* (Okra). *International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences*, *3*, 120-132.
22. Li, X. (1996). The use of chitosan to increase the stability of calcium alginate beads with entrapped yeast cells. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, *23*, 269-272.
23. Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*, *14*(9), 364-373. https://doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00050-5
24. Nasirvand, L., & Javadi, A. (2018). Effect of chitosan edible coatings on reduce oil uptake in fried eggplant. Journal of Food Research, *28*(2), 59-68.
25. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., Sadeghi Mahoonak, A., Kashani-Nejad, M., & Mirzaee, H. (2015). Estimation of convective heat transfer coefficient as function of the water loss rate during frying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *11*(4), 473-484.
26. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., Sadeghi, A.R., Kashaninejad, M., & Mirzaei, H. (2016). Kinetic modeling of color changes in french fries during frying process. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(1), 65-76.
27. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., & Kashani-Nejad, M. (2017). Mechanical study for texture degradation of potato strip during frying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *13*(1), 92-104.
28. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., & Kashani-Nejad, M. (2018). Fractional conversion modeling of color changes in apple during simultaneous dry-blanching and dehydration process using intermittent infrared irradiation. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *14*(2), 383-397.
29. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., & Kashaninejad, M. (2019). Design of fuzzy system for sensory evaluation of dried apple slices using infrared radiation. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *50*(1), 77-89.
30. Sabbaghi, H. (2021). Application of hydrocolloid compounds (xanthan and carboxymethylcellulose) in doughnut formulation for reducing oil uptake. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *17*(5), 919-940.
31. Shakouri, S., Tavakolipour, H., Ziaolhagh, S.H.R., & Mortazavi, S.M. (2021).The effect of Blanching, packaging and storage period on moisture content and oil absorption in microwave-dried potato. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *15*(81), 431-442.
32. Taghavi, N., Ziaiifar, A.M., Mirzaee, H., Sadeghi Mahoonak, A., Ghorbani, M., & Sabbaghi, H. (2018). Investigation on effect of coating on the oil uptake during deep fat frying process of traditional sweet Pishmeh. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *14*(4), 561-571. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v14i4.56899
33. Torabi, R., Hojjati, M., Barzegar, M., & Jooyandeh, H. (2017). Effect of hydrocolloid coatings in preventing acrylamide formation and reducing oil uptake in potato chips. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, *12*(1), 109-120.

34. Van Koerten, K.N., Schutyser, M.A., Somsen, D., & Boom, R.M. (2015). Crust morphology and crispness development during deep-fat frying of potato. *Food Research International*, 78, 336-332. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.022
35. Varela, P., & Fiszman, S.M. (2013). Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
36. Xu, K, Guo, M., Roman, L., Pico, J., & Martinez, M.M. (2020). Okra seed and seedless pod: Comparative study of their phenolics and carbohydrate fractions and their impact on bread-making, *Food Chemistry*, *317*, 126387. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126387
37. Yadegari, M., Esmaeilzadeh Kenari, R., & Hashemi, S.J. (2017). Investigation of effects of lepidium sativum seed, alyssum homolocarpum and methyl cellulose gums and Compound them on oil uptake and qualitative properties of fried potato during deep frying process. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *69*(14), 1-9. http://fsct.modares.ac.ir/article-۲۴۸۳-۷-fa.html
38. Ziaolhagh, SH., & Kanani, S. (2021). Extending the shelf life of apricots by using gum tragacanth-chitosan edible coating. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *23*(2), 319-331.
39. Ziaolhagh, S., Mazaheri Tehrani, M., Razavi, M., & Rashidi, H. (2017). Roasting process optimization of walnut kernels for the preparation of walnut cream using response surface methodology. *Journal of Nuts*, *8*(1), 31-40. https://doi.org/%2010.22034/JON.2017.530390
40. Zimoch-korzycka, A., Ambrozik-Haba, J., Kulig, D., & Jarmoluk, A. (2015). Modification effect of cellulose on the physicochemical characteristic of polysaccharides edible films. *International Journal of Polymer Science*, *10*, 265-273. https://doi.org/10.1155/2015/184616